

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ КАРБОНИТРИДОВ В СТАЛЯХ С КАРБОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ Fe-Nb-Ti-C-N

Пасынков А.Ю., Горбачёв И.И.

Руководитель – к.ф.-м.н. Горбачёв И. И.

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург,
physics@imp.uran.ru

Одним из наиболее эффективных методов повышения свойств конструкционных сталей является карбонитридное упрочнение, то есть легирование сильными карбонитридообразующими элементами. Карбиды, нитриды и карбонитриды образуются в большинстве промышленных сталей и оказывают сильное влияние на их структуру и механические свойства. Механизм влияния этих элементов определяется, в первую очередь, тем, находятся ли они в растворенном состоянии или связаны в карбонитриды, а также состоянием ансамбля выделений (т.е. средним размером частиц, их распределением по размерам, морфологией, объемной долей и т.п.).

При термической обработке часто достигается состояние, близкое к равновесному, и поэтому в этих случаях можно использовать методы термодинамики для прогнозирования состояния системы. На основе термодинамического подхода в Институте физики металлов УрО РАН была создана программа IMP Equilibrium [1], которая позволяет рассчитывать термодинамически равновесное состояние многокомпонентных многофазных систем при заданной температуре. В данной работе с помощью программы IMP Equilibrium, исследовалась растворимость комплексных карбонитридов для температурного диапазона, соответствующего аустенитизации, в системе Fe-Nb-Ti-C-N, моделирующей реальную сталь с карбонитридным упрочнением.

Расчеты были проведены для систем с 0,007 мас. % N и 0,1 мас. % C (сталь 10Г2ФБ) и температур 900 °C, 950 °C, 1000 °C, 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C, 1200 °C. Пример результатов расчетов представлен в виде трехмерных диаграмм (рис. 1), на которых показаны зависимости различных характеристик фазового состава системы Fe-Nb-Ti-C-N от количества Nb и Ti в стали.

Результаты расчетов показывают, что в исследованном интервале составов в равновесии с аустенитом может образовываться два кубических карбонитрида. Из карбонитридообразующих элементов в “первом” карбонитриде находится преимущественно Ti, а во “втором” – Nb. Чем

больше в стали азота, тем ближе состав “первого” карбонитрида к нитриду и наоборот.

При малом содержании титана в стали “первый” карбонитрид по составу близок к нитриду, так как весь азот связан титаном, а при увеличении доли титана состав данной фазы смещается в сторону карбида.

Нитрид титана имеет очень низкую растворимость, что объясняет практически неизменное количество “первого” карбонитрида в стали при повышении температуры. Для стехиометрического нитрида TiN одна массовая доля азота связывает примерно 3,4 массовых доли титана, и эта точка является характерной точкой перегиба на всех графиках. Пока атомная доля титана в стали меньше атомной доли азота, практически весь титан связывается в карбонитридную фазу, состав которой в это время максимально приближен к нитриду, а из карбонитридообразующих элементов в ней присутствуют как титан, так и ниобий. При этом доля данной фазы практически не зависит от количества углерода в стали. Если же атомная доля титана превышает атомную долю азота в стали, то ниобий из “первого” карбонитрида исчезает, а зависимость доли “первого” карбонитрида от концентрации углерода в стали становится более заметная, так как титан начинает связывать в “первый” карбонитрид и углерод. Кроме того, чем больше углерода оказывается в “первом” карбонитриде, тем более выражена зависимость соотношения $C/(C+N)$ от количества Nb в стали.

Состав “второго” карбонитрида тем ближе к карбиду, чем больше в стали углерода и тем ближе к нитриду, чем больше азота. Количество ниобия в стали незначительно влияет на состав данного карбонитрида – увеличение доли Nb в стали приводит к его смещению в сторону карбида.

При относительно небольшом количестве Ti в стали (когда его атомная доля меньше доли азота) с увеличением количества Ti наблюдается смещение состава “второго” карбонитрида в сторону карбида. Это связано с тем, что чем больше титана в стали, тем больше он связывает азот и тем большая концентрация углерода получается во “втором” карбонитриде. На этом участке фазовой диаграммы весь титан связывается в “первый” карбонитрид, и второй остаётся преимущественно ниобиевым. Но если атомная доля титана в стали превышает атомную долю азота, увеличение количества титана в стали приводит к увеличению его доли в составе “второго” карбонитрида.

В исследованном диапазоне температур за исключением того, что с повышением температуры более легкорастворимый “второй” карбонитрид начинает образовываться при большем содержании Nb в стали, характер зависимостей качественно не меняется.

Карбонитрид на основе TiN

Карбонитрид на основе Nb(C,N).

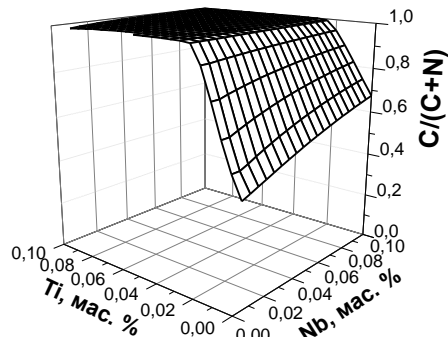
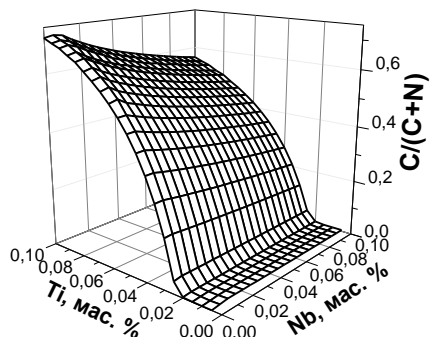
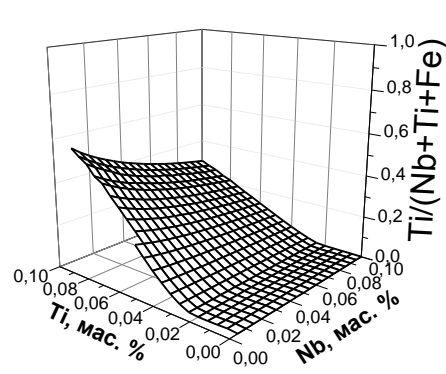
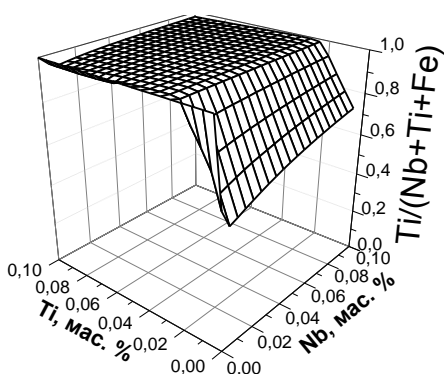
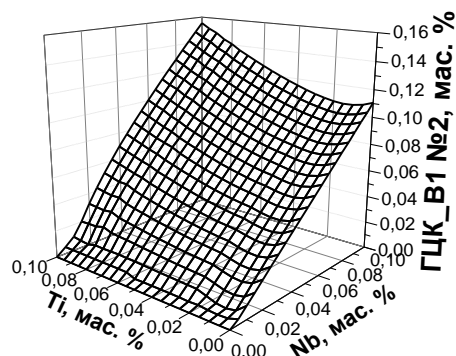
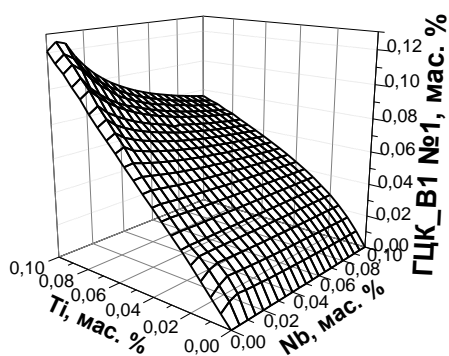


Рисунок 1. Изменение фазового состава стали с 0,007 мас. % N и 0,1 мас. % C в зависимости от содержания Ti и Nb в стали при температуре 900 °C

Используемые литературные источники:

1. Попов В.В., Горбачев И.И. Анализ растворимости карбидов, нитридов и карбонитридов в сталях методами компьютерной термодинамики. I. Описание термодинамических свойств. Метод расчета // Физика металлов и металловедение. 2004. т. 98. № 4. с. 11-21.